

不同滴灌带埋设深度对玉米生长、产量和水分利用效率的影响

李秉华

宁夏大学农学院

DOI:10.32629/as.v9i8.4240

[摘要] 为探明宁夏引黄灌区砂壤土条件下,地埋滴灌带埋设深度对春玉米生长发育、干物质积累、灌浆特性与水分利用的实际影响,2025年在平吉堡农场开展田间试验,设置5、10、15、20 cm 4种埋深处理,系统测定玉米株高、茎粗、根系活力、茎叶干物质、百粒重、土壤含水量与籽粒产量,采用单因素方差分析结合Tukey法开展多重比较。结果表明:滴灌浅埋5 cm会明显抑制玉米苗期株高($P < 0.05$),进入拔节期后各处理株高、茎粗无显著差异;5 cm埋深下玉米拔节、大喇叭口期根系活力显著更高;15 cm埋深玉米在乳熟、蜡熟期茎叶干物质积累量显著优于其他处理。各处理玉米灌浆速率、籽粒产量无统计学差异,10 cm埋深亩产最高,达1361.53 kg;灌溉水分利用效率(IWUE)组间差异显著,5 cm处理IWUE最高,为7.53 kg/m³。综合产量与用水效益,田间优先选用10 cm埋深,水资源紧缺年份可采用5 cm浅埋模式。

[关键词] 玉米; 地下滴灌; 埋深; 干物质; 水分利用效率

中图分类号: S513 文献标识码: A

The Effects of Different Drip Irrigation Tube Embedding Depths on Corn Growth, Yield and Water Use Efficiency

Binghua Li

College of Agriculture, Ningxia University

[Abstract] To explore the actual effects of different drip irrigation tube embedding depths on the growth, development, dry matter accumulation, filling characteristics and water use efficiency of spring corn under sandy loam soil conditions in the Yellow River irrigation area of Ningxia, a field experiment was conducted in Pingjiabu Farm in 2025. Four embedding depths of 5, 10, 15 and 20 cm were set. The height of corn plants, stem diameter, root vitality, dry matter of stems and leaves, hundred-grain weight, soil moisture content and grain yield were systematically measured. One-way analysis of variance combined with Tukey's method was used for multiple comparisons. The results showed that shallow embedding of drip irrigation at 5 cm would significantly inhibit the plant height of corn at the seedling stage ($P < 0.05$), and there was no significant difference in plant height and stem diameter among the treatments after the jointing stage; the root vitality of corn at the jointing and large-flower-mouth stage was significantly higher under 5 cm embedding depth; corn with 15 cm embedding depth accumulated more dry matter in the stems and leaves during the milk and wax ripening stages than other treatments. There was no statistical difference in the filling rate and grain yield of corn among all treatments, and the yield per mu was the highest under 10 cm embedding depth, reaching 1361.53 kg; the irrigation water use efficiency (IWUE) showed significant differences among the treatments, and the IWUE of the 5 cm embedding treatment was the highest, at 7.53 kg/m³. Considering the comprehensive yield and water use efficiency, 10 cm embedding depth is preferred in the field, and the 5 cm shallow embedding mode can be adopted in water-scarce years.

[Key words] Corn; Underground Drip Irrigation; Embedding Depth; Dry Matter; Water Use Efficiency

1 引言

宁夏引黄灌区是西北春玉米主产区,但区域水资源总量有

限,田间节水灌溉是缓解用水压力的核心途径。地下滴灌可减少土壤蒸发、提升水分入渗效率,近些年在当地玉米种植中逐步推

广,但滴灌带埋设深度直接改变土壤湿润范围,进而影响根系吸水、植株生长与最终产出^[3,4]。

现有研究针对小麦、番茄等作物开展过滴灌埋深试验,普遍认为浅埋利于苗期根系发育,深埋可增加深层土壤储水量,但不同土质、作物品种下最优埋深结论并不统一^[1,2]。针对宁夏砂壤土春玉米的相关试验多仅观测产量单一指标,缺少全生育期植株生理、土壤水分动态的连续监测,难以明确不同埋深对玉米根冠协同发育、干物质转运的调控规律^[5,7]。

基于上述现状,本试验设置4个梯度埋深,跟踪测定玉米全生育期生长指标、根系活力、干物质积累、灌浆特征与土壤含水量,对比不同埋深下玉米产量与灌溉水分利用效率,明确当地春玉米地下滴灌适宜埋设深度,为灌区节水玉米栽培提供田间实操依据^[6]。

2 材料与方法

2.1 试验概况

试验地点为宁夏平吉堡农场,土壤质地砂壤土,0~40 cm土层有机质11.3 g/kg、全氮0.72 g/kg、田间持水量23.6%。试验玉米品种为先玉1611,4月22日播种,9月10日收获,常规大田施肥管理,全生育期无重大病虫害。

试验设滴灌带埋深5、10、15、20 cm共4个处理,每处理3次重复,小区面积24 m²,随机区组排布。滴灌带流量1.8 L/h,依据土壤墒情统一制定灌溉方案,记录各处理全生育累计灌水量。

2.2 测定项目与方法

2.2.1 株高、茎粗:苗期、拔节、小喇叭、大喇叭、抽雄、乳熟6个生育期取样,每小区随机选取3~5株测量,取小区平均值用于统计分析。

2.2.2 根系活力:拔节、大喇叭、抽雄、乳熟、蜡熟5个时期采用TTC法测定,每处理3次重复。

2.2.3 茎叶干物质:对应根系活力测定时期取样,拔节期每处理5株,其余时期3株,105℃杀青、80℃烘干至恒重称重。

2.2.4 百粒重与灌浆速率:灌浆期分5次取样测定百粒干重,以取样后天数为自变量、百粒重为因变量做一元线性回归,回归斜率代表平均灌浆速率。

2.2.5 土壤含水量:采用TDR仪器,分6个关键日期测定10、20、40、60、80 cm土层含水量,绘制土壤水分时空等值图。

2.2.6 籽粒产量:成熟后小区实收,折算亩产量;灌溉水分利用效率IWUE=小区籽粒产量/小区累计灌溉水量。

2.3 数据处理

采用Python中SciPy、statsmodels程序开展单因素方差分析,多重比较选用Tukey HSD法,显著性标准 $\alpha=0.05$;绘图均值标注标准误(SE),同一生育阶段柱形上方不同小写字母代表组间差异显著。土壤含水率等值线采用线性插值绘图,仅直观展示水分时空变化,不用于显著性推断。

3 结果与分析

3.1 滴灌埋深对玉米株高、茎粗的影响

苗期5 cm埋深玉米株高仅19.45 cm,显著低于另外3组处理($P<0.05$),浅埋条件下表层土壤水分蒸发快,苗期供水不足是主要原因。进入拔节期后,各处理株高差距持续缩小,乳熟期所有处理株高稳定在313.34~316.40 cm,组间无明显区别(图1)。

全生育期玉米茎粗均未出现显著组间差异。苗期至小喇叭口阶段P值介于0.072~0.102,仅存在微弱差异趋势;生长后期植株茎粗趋于稳定,抽雄、乳熟期各处理茎粗分别维持在30.04~31.19 mm、30.39~31.49 mm(图2)。

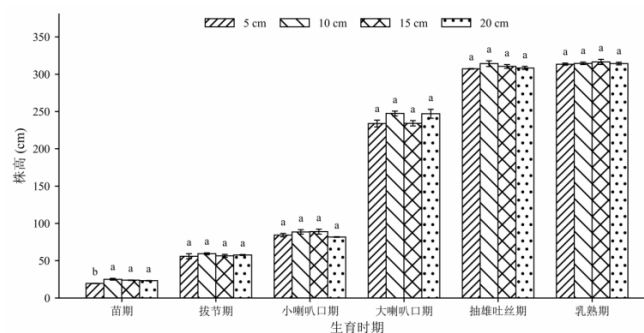


图1 不同滴灌带埋深下玉米株高的生育期变化

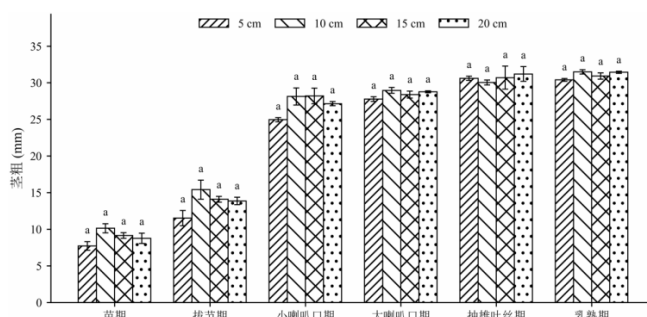


图2 不同滴灌带埋深下玉米茎粗的生育期变化

3.2 不同埋深对玉米茎叶干物质积累的影响

拔节至抽雄阶段,4组处理茎叶干重数值接近,无统计学差异。乳熟期15 cm埋深茎叶干重154.61 g/株,显著高于20 cm埋深处理,5、10 cm处于中间水平;蜡熟期差异进一步拉大,15 cm埋深干物质积累量显著高于其余所有处理(图3)。15、20 cm埋深水分下渗更深,中后期根系吸水范围更大,利于营养器官干物质持续累积。

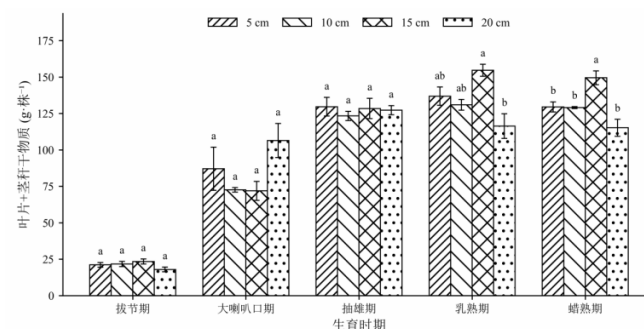


图3 不同滴灌带埋深下玉米叶片与茎秆干物质积累

3. 3根系活力

根系活力的处理差异主要集中在生育前期。拔节期5 cm处理为 5.14 ± 0.53 g/h, 显著高于10、15和20 cm处理($P < 0.05$); 大喇叭口期5 cm处理为 5.18 ± 0.51 g/h, 同样显著高于其余处理($P < 0.001$)。抽雄期、乳熟期和蜡熟期差异不显著, 其中乳熟期10 cm 处理数值最高(8.35 ± 0.18 g/h), 但与其他处理未形成显著差异。

3. 4根系活力生育期变化规律

根系活力差异集中在玉米生长前期。拔节期5 cm埋深根系活力5.14 g/h, 大喇叭口期5.18 g/h, 两项指标均显著高于10、15、20 cm处理($P < 0.05$)。滴灌带浅埋后水分集中在浅层根系分布区, 前期根系吸水、代谢活性更强。

抽雄之后各组根系活力差距消失, 乳熟期10 cm埋深根系活力数值最高, 但与其他处理无显著区别(图4)。

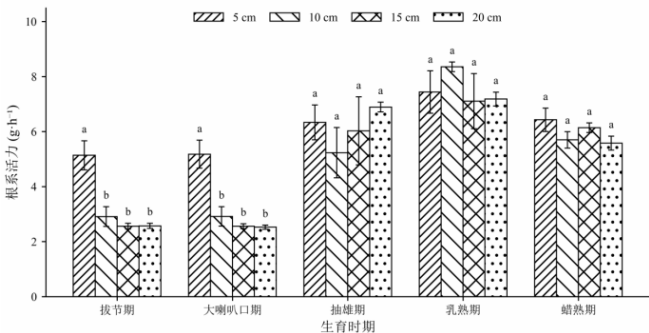


图4 不同滴灌带埋深下玉米根系活力变化

3. 5灌浆速率对比

4种埋深玉米平均灌浆速率分别为 0.606 (5 cm)、 0.673 (10 cm)、 0.630 (15 cm)、 0.676 $\text{g} \cdot (100 \text{ 粒})^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, 各组无显著差异。仅8月13日百粒重出现短期区别, 20 cm埋重略高于10 cm, 其余测定日期百粒重均相近(图5)。说明埋深不会明显改变玉米籽粒灌浆快慢。

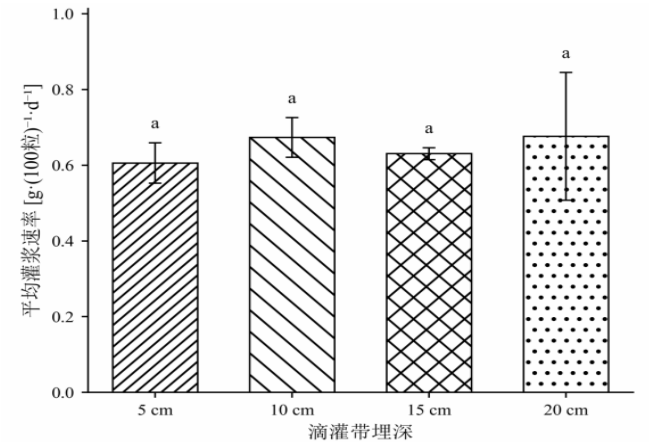


图5 不同滴灌带埋深下玉米平均灌浆速率

3. 6籽粒产量与灌溉水利用效率

产量数值上10 cm埋深最高, 亩产1361.53 kg, 5、15、20 cm

依次降低, 但方差分析显示4组产量无显著差异。各处理灌溉用水量差距明显, 20、15 cm埋深灌水总量更高, 5 cm累计灌水量最少, 直接造成IWUE出现显著分组: 5 cm处理IWUE 7.53 kg/m^3 显著高于15、20 cm, 10 cm次之, 与5 cm差异不显著(表1, 图6)。

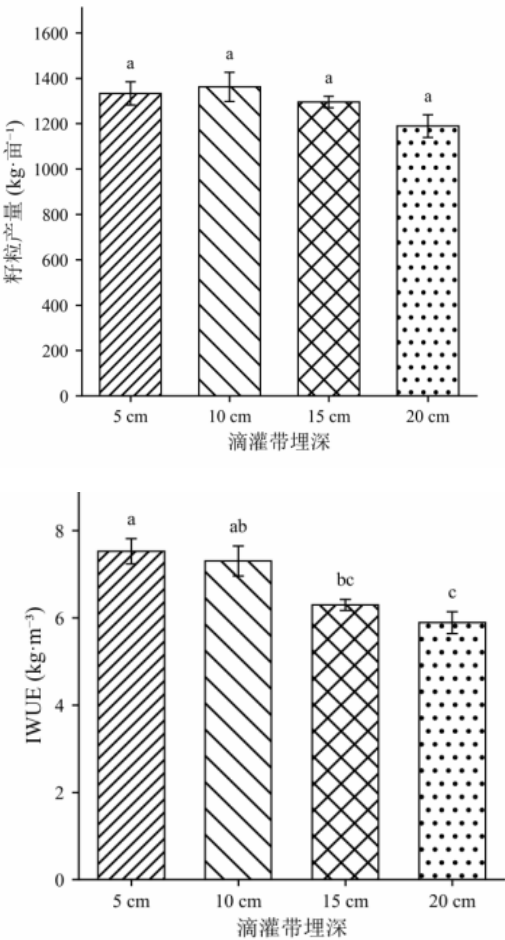


图6 不同滴灌带埋深下玉米籽粒产量和 IWUE

表1 不同滴灌带埋深处理的产量、灌溉量和IWUE

埋深(cm)	籽粒产量(kg/亩)	累计灌水量(m³/亩)	IWUE(kg/m³)	产量排序	综合排序
5	1332.90 ± 51.15 a	177.12	7.53 ± 0.29 a	2	2
10	1361.53 ± 64.01 a	186.39	7.30 ± 0.34 ab	1	1
15	1295.04 ± 25.72 a	205.70	6.30 ± 0.13 bc	3	3
20	1188.87 ± 50.26 a	201.83	5.89 ± 0.25 c	4	4

3. 7土壤含水率时空分布特征

全生育20~40 cm根区平均含水率各组差别不大, 介于21.77%~22.10%, 但土壤水分垂直分布特征区别明显。5 cm埋深湿润体集中表层, 浅层土壤干湿交替频繁; 10 cm表层含水量波动最大; 15、20 cm埋深水分在20~40 cm土层连续分布, 深层储水能力更强(图7~10)。

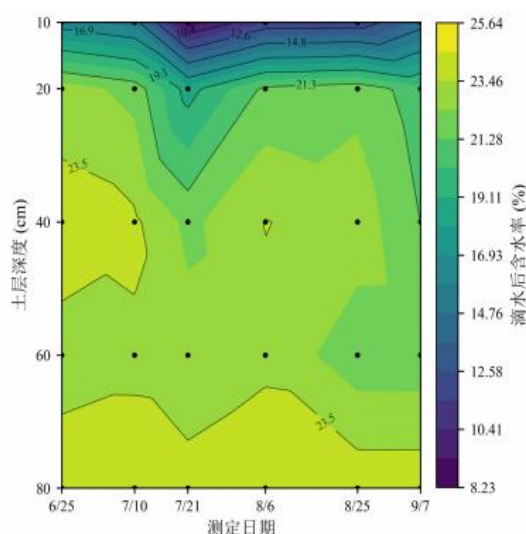


图7 5 cm埋深滴水后土壤含水率等值线

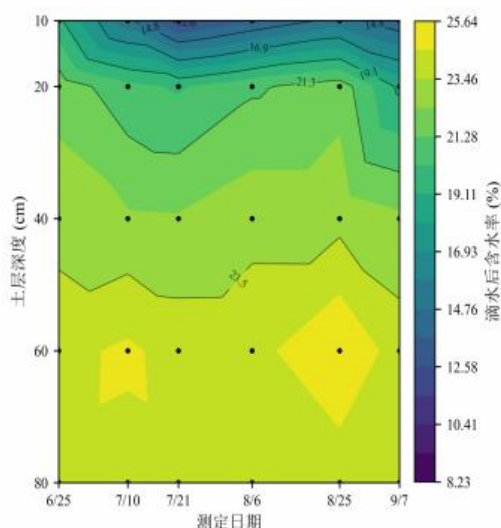


图8 10 cm埋深滴水后土壤含水率等值线

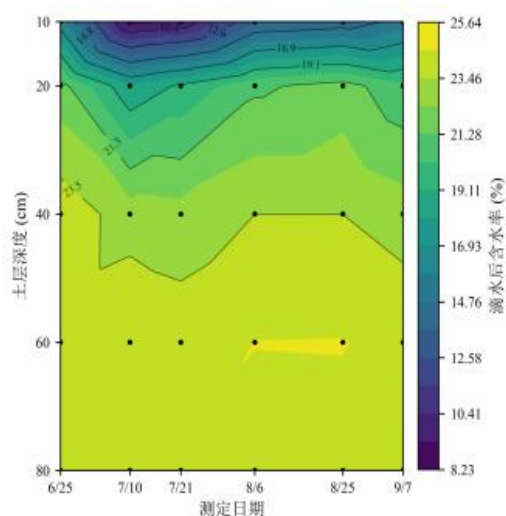


图9 15 cm埋深滴水后土壤含水率等值线

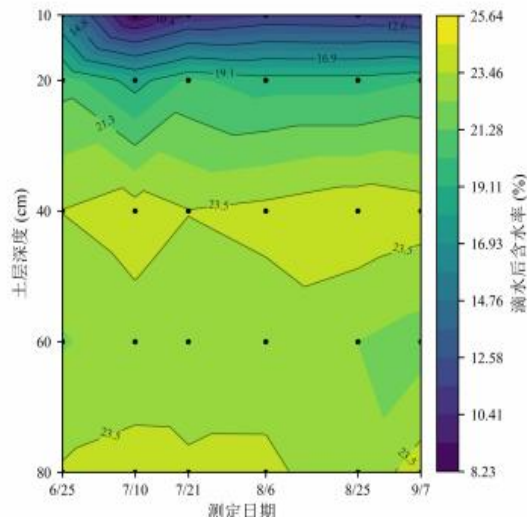


图10 20 cm埋深滴水后土壤含水率等值线布

4 讨论

4.1 滴灌埋深对玉米阶段性生长的调控作用

本试验发现5 cm浅埋仅提升玉米前期根系活力, 苗期株高受抑, 中后期株高、茎粗无法形成优势, 这与刘晓菲等的研究结论一致, 浅层土壤蒸发损耗大, 苗期供水稳定性不足, 会延缓幼苗生长^[5]。而埋深加大至15 cm后, 中后期深层水分供给充足, 茎叶干物质持续积累, 但营养器官生物量高并不等同于籽粒增产, 干物质向籽粒转运效率有限^[1]。前人在冬小麦、番茄地下滴灌试验中也发现类似阶段性规律: 浅埋促前期根系, 深埋利于后期植株营养生长, 但产量提升效果有限^[1, 2]。

4.2 埋深对产量与水分利用效率的权衡关系

试验内各组玉米产量无显著差异, 说明5~20 cm埋深区间均能满足春玉米产出需求, 但用水成本差距明显。10 cm埋深兼顾浅层苗期供水与深层储水, 灌水总量适中, 产量数值最优; 5 cm埋深灌水量最少, 节水优势突出, IWUE显著更高, 适合当地枯水年份应用。15、20 cm埋深需要更多灌溉水补充深层渗漏, 水分转化效率偏低, 与区域砂壤土湿润峰迁移规律研究结果吻合, 埋深过大会造成水分向根系下层流失, 无法被植株吸收利用^[4, 7]。

国外多年玉米地下滴灌试验同样证实, 过深埋设会降低水分利用效率, 适中埋深可平衡稳产与节水需求, 本研究结果与堪萨斯州多年定位试验结论相近^[8]。

4.3 区域生产适配建议

从土壤水分等值图可以看出, 5 cm埋深表层干湿变化剧烈, 若播种后持续高温少雨, 苗期缺苗风险上升, 需要缩短灌水周期精细化管理; 10 cm埋深湿润层匹配玉米主要根系分布层, 田间管理难度更低, 适合常规年份规模化种植; 15、20 cm埋深耗水偏高, 若无充足水源不推荐长期使用。本试验仅为单年观测结果, 土壤墒情、年降雨存在年际波动, 后续需开展多年定位试验验证15 cm埋深实际生产价值^[6, 9]。

5 结论

(1)滴灌埋深仅显著影响玉米苗期株高、拔节-大喇叭口期根系活力以及乳熟、蜡熟期茎叶干物质；全生育期茎粗各组无明显区别。5 cm埋深前期根系活性最优, 15 cm埋深中后期干物质积累最多。

(2)不同埋深玉米灌浆速率、籽粒产量无显著统计学差异, 10 cm埋深亩产达到1361.53 kg, 为各组最高；灌溉水分利用效率差异显著, 5 cm埋深IWUE最高(7.53 kg/m³)。

(3)综合产量与用水效益排序: 10 cm>5 cm>15 cm>20 cm。正常灌溉水源充足时优先选用10 cm滴灌埋深；水资源紧张年份可采用5 cm浅埋模式；15、20 cm埋深灌溉投入大、水分转化效率低, 不推荐作为当地春玉米主流埋设方案。

表2 各埋深处理综合评价与田间应用建议

埋深 (cm)	产量排序	IWUE 排序	综合排序	应用判断
10	1	2	1	产量目标优先
5	2	1	2	节水目标优先
15	3	3	3	需跨年验证
20	4	4	4	本试验条件下不优先

[课题]

宁夏农作物高效节水关键技术研究及应用科技创新团队项目编号: 2024CXTD011。

[参考文献]

[1]何华,康绍忠,曹红霞.地下滴灌埋管深度对冬小麦根冠生长及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2001,17(6):31-33.

[2]蒋树芳,万书勤,冯棣,等.地下滴灌不同埋深对番茄产量和灌溉水利用效率的影响[J].节水灌溉,2015(8):26-28.

[3]王振华,任杰,温新明.地下滴灌毛管适宜埋深及间距研究进展[J].水资源与水工程学报,2007,18(6):48-51.

[4]李毅,邵明安,王文焰.地下滴灌土壤水分湿润体特征及影响因素[J].水利学报,2004,35(9):78-83.

[5]刘建亮.春玉米地下滴灌埋深对出苗、干物质积累及水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2017,33(17):112-119.

[6]张万良,王顺喜,马娟娟.宁夏引黄灌区春玉米膜下滴灌适宜灌溉制度研究[J].江苏农业科学,2026,54(9):189-196.

[7]杨鹏年,李培培,孙亚楠.砂壤土玉米地下滴灌湿润峰运移与滴灌带埋深优选[J].灌溉排水学报,2023,42(7):64-71.

[8]康跃虎,万书勤,刘士平.地下滴灌节水增产机理与应用关键技术[J].中国农村水利水电,2016(1):1-7.

[9]赵阳,李士清,陈新平.半干旱区覆膜对玉米生长、产量及水分利用的调控效应[J].中国生态农业学报,2013,21(6):71-78.

作者简介:

李秉华(1998--),女,回族,宁夏吴忠人,硕士研究生,研究方向:农学。